فصل ششم

دوام یا پایایی بتن

دانشیان
پارسا آزمون

دانشبان
پارسا آزمون

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

فصل ششم
دوام یا پایایی بتن

متن اصلی *تفسیر/توضیح*

۶-۱ گستره

ضوابط این فصل به الزاماتی که باید برای حفظ دوام یا پایایی بتن در شرایط محیطی نامناسب رعایت شود، اختصاص دارد و شامل موارد زیر است:

الف – کلیات؛

ب- خوردگی ناشی از کربناته شدن؛

پ- خوردگی ناشی از یون‌های کلرید؛

ت- حمله‌های سولفاتی؛

ث- رویارویی با آب دریا؛

ج- رویارویی با چرخه‌های یخزدن و آب شدن؛

چ- واکنش‌های قلیایی - سنگدانه؛

ح- سایش.

ت ۶-۱ گستره

علاوه بر مواردی که در این آئین‌نامه به تفصیل به آن پرداخته شده است موارد دیگری نیز وجود دارد که در این آیین‌نامه به آن‌ها پرداخته نشده است و باید به دیگر مراجع معتبر مراجعه شود و عبارتند از:

- افزایش حجم ناشی از تبلور برخی نمک‌ها که در مناطق خشک یا نیمه خشک و کم بارش در نزدیک سطح خاک یا آب سطحی مشاهده می‌شود و سطح بتن بتدریج از خمیر سیمان یا ملات تُهی می‌شود.
- حمله اسیدی، که باعث از بین رفتن سطح بتن و مقاومت آن و خوردگی میلگرد می‌شود.
- آتش‌سوزی یا افزایش شدید دمای بتن که باعث متلاشی شدن بتن بویژه در قسمت‌های سطحی می‌شود.
- حفره‌زایی یا خلاءزایی که باعث قلوه‌کن شدن بتن در اثر کاهش فشار و ایجاد خلاء بدلیل سرعت زیاد آب یا برخورد آن به موانع بتنی بوجود می‌آید.
- خروج املاح از بتن توسط آب‌های نزدیک به آب مقطر.
- ترک خوردگی ناشی از تنش‌های حرارتی.
- ترک خوردگی ناشی از تر و خشک شدن پی در پی.
- ترک خوردگی ناشی از جمع‌شدگی در بتن سخت شده.

۶-۲ کلیات

دوام بتن به توانایی آن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و هرگونه فرآیندی که منجر به زوال و خرابی و کاهش طول عمر مفید و بهره‌دهی آن خواهد شد، اطلاق می‌شود.

ت ۶-۲ کلیات

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

بتن پایا در شرایط محیطی مورد نظر، ابعاد، شکل، حداقل کیفیت قابل قبول اولیه و قابلیت بهره‌برداری مورد نظر از سازه‌های بتنی را حفظ می‌کند.

در بندهای «الف» تا «چ» زیر به اختصار برخی از پدیده‌هایی که منجر به کاهش دوام بتن می‌شوند، عنوان می‌شود و الزامات فنی و اجرایی که برای مقابله با این پدیده‌ها باید رعایت شود، در سایر بندهای این بخش ارایه می‌شود.

الف- خوردگی ناشی از کربناته شدن بتن

این پدیده به علت از بین رفتن لایه محافظ میلگردها و قطعات فلزی جاگذاری شده در بتن، در اثر کاهش قلیاییت محیط خمیر سیمان، شروع شده و در حضور اکسیژن و آب موجب زنگ‌زدن و خوردگی پیش رونده در فولادها می‌شود.

تداوم زنگ زدن فولادها، سرانجام به ترتیب منجر به طبله کردن، ترک خوردن و خُرد شدن بتن روی آن‌ها خواهد شد.

ب- خوردگی ناشی از یون‌های کلرید

این پدیده بدلیل وجود یون کلرید در مجاورت آرماتورها و اقلام فلزی جاگذاری شده در اثر نفوذ آن از محیط مجاور و یا آلودگی مواد تشکیل دهنده بتن ایجاد می‌شود. خوردگی کلریدی با افزایش غلظت یون‌های کلرید و رسیدن به حد بحرانی می‌تواند آغاز شود و در صورت حضور رطوبت و اکسیژن ادامه یابد. نتیجه این خوردگی نیز مشابه خرابی بتن در خوردگی ناشی از کربناته شدن بتن است.

تفسیر/توضیح

الف- خوردگی ناشی از کربناته شدن بتن

کربناته شدن در نتیجه واکنش کربن دی‌اکسید موجود در هوا و یا آب باران نفوذی در بتن با کلسیم هیدروکسید ناشی از هیدراته شدن C_2S و بویژه C_3S سیمان در حضور آب ایجاد می‌شود، و با کاهش pH خمیر سیمان از حدود بیش از ۱۲٫۵ و رسیدن آن به حد تقریبی کمتر از ۹، لایه محافظ میلگرد از بین می‌رود. هرچند کیفیت بتن از نظر مقاومت و چسبندگی آسیب جدی نمی‌بیند اما زنگ‌زدگی میلگردها می‌تواند به تخریب بتن روی میلگرد منجر شود.

در ریز اقلیم‌هایی همچون محیط کارخانه‌های سیمان، نیروگاه‌های گازی یا حرارتی، پالایشگاه‌های نفت و گاز، کارخانه‌های حرارتی آهک‌پزی، تونل‌های راه و راه‌آهن و مناطق پرتردد شهری، کربناته شدن بتن از اهمیت بیشتری برخوردار است.

در مواردی‌که حمله اسیدی وجود دارد نیز pH خمیر سیمان کاهش می‌یابد ضمن آن‌که هیدرات‌های سیلیکاتی نیز دستخوش تجزیه می‌شوند. در حمله اسیدی علاوه بر زنگ‌زدگی میلگردها، کیفیت بتن از نظر مقاومت و چسبندگی نیز آسیب می‌بینند. حمله اسیدی در تاج تونل‌های انتقال فاضلاب و برخی سقف مخازن نگهداری فاضلاب دیده می‌شود. امروزه فاضلاب‌های صنعتی نیز ممکن است به شدت اسیدی باشند.

ب- خوردگی ناشی از یون‌های کلرید

معمولا در بتنی با pH بالاتر از ۱۲٫۵، لایه محافظ پایداری به‌وجود می‌آید که موجب کند شدن زنگ‌زدگی شدید فولاد می‌شود. چنانچه غلظت یون‌های کلرید به حد بحرانی یا حد آستانه خوردگی برسد، لایه محافظ در سطح میلگرد از بین می‌رود. غلظت بحرانی یون‌های کلرید در همه بتن‌ها یکسان نیست و به عوامل مختلفی مانند pH خمیر سیمان و دما، ارتباط دارد.

عدم حضور رطوبت و اکسیژن باعث توقف عملی خوردگی فولاد می‌شود که با توجه به از بین رفتن لایه محافظ و ایجاد شرایط مساعد خوردگی می‌تواند بصورت فعال ادامه یابد.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

پ- حمله‌های سولفاتی

این پدیده به‌علت نفوذ یون‌های سولفات موجود در آب یا خاک مجاور بتن، و افزایش مقدار مواد منبسط شونده در آن ایجاد شده و به‌تدریج باعث فروپاشی سطح بتن و گسترش آن به سمت داخل می‌شود. وجود مقادیر بیش از حد یون‌های سولفات در اجزای تشکیل دهنده بتن نیز ممکن است در شرایط خاص منجر به ایجاد این پدیده شود.

ت- رویاروئی با آب دریا

این پدیده عمدتا بدلیل وجود یون‌های کلرید در آب دریاهای شور و اثر آن بر روی میلگرد بتن است. در این آب‌ها معمولا یون‌های سولفاتی نیز وجود دارد و تا حدودی خرابی بتن را تشدید می‌کند.

ث- رویاروئی با چرخه‌های یخ زدن و آب شدن

این پدیده بر اثر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن در سطح بتن و ایجاد ترک‌خوردگی در آن ظاهر شده و به‌تدریج موجب انبساط پیش‌رونده و فروپاشی آن می‌شود.

ج- واکنش قلیایی - سنگدانه

این پدیده در اثر واکنش قلیایی سیمان با کانی‌های واکنش‌زا در سنگدانه‌ها ایجاد می‌شود و نتیجه آن ایجاد انبساط در حدفاصل خمیر سیمان و سنگدانه‌ها می‌باشد. این پدیده در درازمدت ترک خوردگی‌هایی در درون بتن ایجاد می‌نماید و سرانجام موجب متلاشی شدن آن می‌شود.

تفسیر/توضیح

پ- حمله‌ها سولفاتی

برخی سولفات‌ها مانند منیزیم سولفات ممکن است باعث از بین رفتن و تجزیه مواد چسباننده بتن شوند، درحالی‌که انبساط چندان زیادی را به‌وجود نمی‌آورد. خطرناک‌ترین سولفات‌ها به‌ترتیب منیزیم سولفات، سدیم و پتاسیم سولفات و کلسیم سولفات هستند. کلسیم سولفات به مقدار کم در آب حل می‌شود، بنابراین مقدار آن نمی‌تواند در آب‌های سطحی یا زیرزمینی از حد معینی تجاوز کند. درحالی‌که قابلیت انحلال سولفات‌های منیزیم، سدیم و پتاسیم به مراتب بیشتر است و ثابت شده است که اثرات زیان بار شدیدتری نیز نسبت به کلسیم سولفات دارند.

ت- رویاروئی با آب دریا

ث- رویاروئی با چرخه‌های یخ زدن و آب شدن

این آسیب وقتی بصورت جدی بروز می‌کند که درجه اشباع منافذ بتن از ۸۰ درصد بیشتر باشد. یخ زدن بتن با درجه اشباع کمتر از ۸۰ درصد، در عمل تنش‌های مخرب چندانی را بوجود نمی‌آورد.
در صورتی‌که نمک‌های یخ‌زدا در آب مجاور سطح بتن باشد، اثرات مخرب آن در یخبندان و آب شدن‌های پی در پی به‌مراتب بیشتر خواهد بود و پوسته پوسته شدن را در پی خواهد داشت. در صورتی‌که این نمک‌ها حاوی کلرید باشند، ممکن است هم‌زمان خوردگی میلگردها را نیز به‌وجود آورند.

ج- واکنش قلیایی - سنگدانه

منظور از قلیایی‌های سیمان، اکسیدهای سدیم Na_2O و پتاسیم K_2O است که با برخی از سنگدانه‌های سیلیسی یا کربناتی واکنش می‌دهند. به‌همین دلیل سنگدانه‌های مشکوک به توانایی واکنش‌زایی مانند اوپال، کلسدونی، بعضی از اشکال کوارتز، کریستوبالیت، تری‌دیمیت و شیشه‌های سیلیسی از گروه سنگدانه‌های سیلیسی‌ها و برخی از دولومیت‌ها از گروه سنگدانه‌های کربناتی قبل از مصرف باید مورد بررسی قرار گیرند. واکنش‌های مورد نظر ممکن است به‌تدریج و معمولا در محیط‌های گرم و

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

چ- سایش

این پدیده در اثر عبور وسایل نقلیه و یا حرکت آب حاوی ذرات ریز بر روی سطح بتن و یا وزش بادهای حامل ذرات ریز ساینده شروع شده و سرانجام با جداشدن ذرات از روی سطح بتن موجب خرابی آن می‌شود.

۶-۳ رده‌بندی شرایط محیطی

۶-۳-۱ شرایط محیطی از دیدگاه دوام شامل: دما و میزان رطوبت محیط، وجود مواد یا یون‌های شیمیایی مهاجم در اطراف بتن است. در **جدول ۶-۱**رده‌بندی این شرایط با توجه به عوامل مختلف ارایه شده است. این رده‌بندی موارد خاص، مانند، بکارگیری فولاد ضد زنگ یا استفاده از پوشش‌های حفاظتی روی بتن و آرماتور و اقلام فلزی جای‌گذاری شده برای جلوگیری از خوردگی را در بر نمی‌گیرد.

۶-۳-۲ در مواردی‌که بتن در معرض دو یا چند حالت رویارویی هم‌زمان از رده‌های **جدول ۶-۱** باشد، ممکن است نیاز به بررسی بیشتر برای تعیین اثر توامان آن‌ها وجود داشته باشد.

تفسیر/توضیح

مرطوب پس از حدود ۵ سال و در محیط‌های مرطوب و سرد، پس از حدود ۱۰ سال آثار خود را به نمایش بگذارند.

چ- سایش

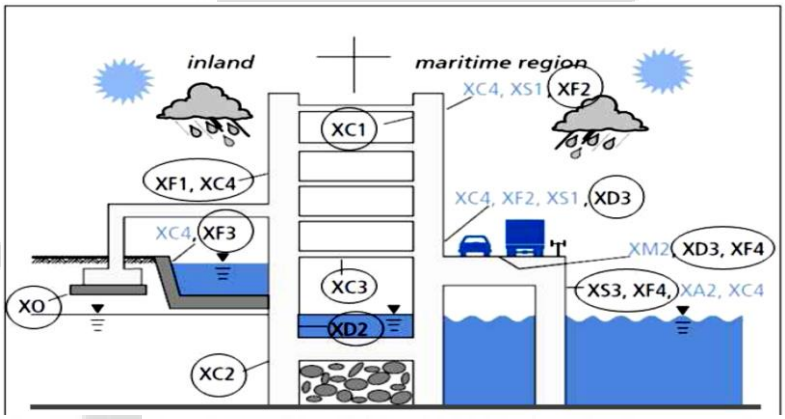
این پدیده با پدیده حفره‌زایی یا خلاءزائی که در اثر سرعت زیاد آب یا برخورد آب به موانع ایجاد می‌شود تفاوت دارد. قلوه‌کن شدن سطح بتن بدلیل ایجاد خلاء یا کاهش فشار ناشی از سرعت آب بوجود می‌آید که نمی‌توان سایش یا فرسایش را بدان اطلاق نمود.

ت ۶-۳ رده‌بندی شرایط محیطی

ت ۶-۳-۱ رده‌بندی ارایه شده در **جدول ۶-۱**در تطابق شرایط ملی با استاندارد ISO 22965-1 و استاندارد ملی ۱-۱۲۲۸۴ ارایه شده است.

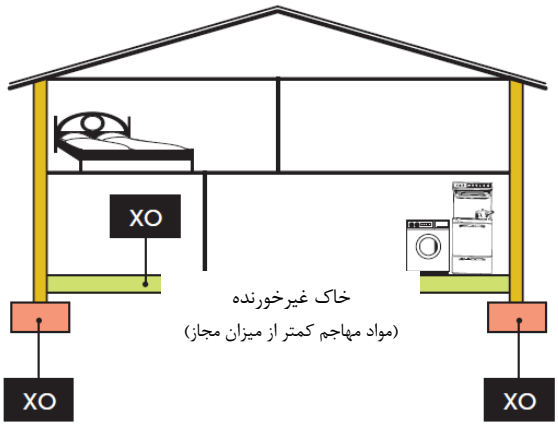
دسته‌بندی ارایه شده بر اساس شرایط محیطی دریا و مشابه سواحل جنوبی ایران تهیه شده و دما و غلظت املاح آب دریا در آن زیاد محسوب شده است. برای سایر محیط‌های دریایی نظیر شمال کشور که دما و غلظت املاح موجود در آب دریا به مراتب کمتر است، باید انتخاب نوع دسته‌بندی با رعایت شرایط حداکثر انطباق صورت گیرد. به عنوان مثال برای انتخاب دسته‌بندی شرایط محیطی می‌توان از شرایط یک درجه ملایم‌تر استفاده کرد.

ت ۶-۳-۲ با توجه به رده بندی **جدول ۶-۱** و از آنجائیکه این رده‌بندی می‌تواند با دیدگاه درشت‌اقلیم (یک سازه و یا بخشی از یک منطقه) و ریزاقلیم (بخشی از یک سازه یا حتی یک عضو) نیز مد نظر قرار گیرد، در **شکل ت ۶-۱** الی **شکل ت ۶-۴** مصادیقی از اختصاص رده‌های مختلف در دیدگاه ریزاقلیم ارایه شده است.

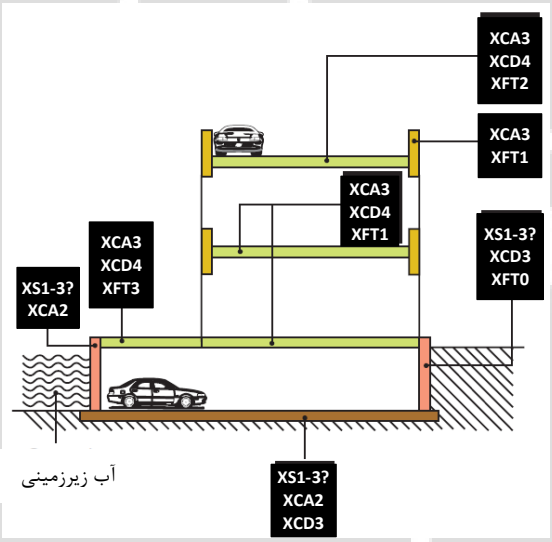


شکل ت ۶-۱ مصادیقی از شرایط محیطی مهاجم مختلف در یک ساختمان

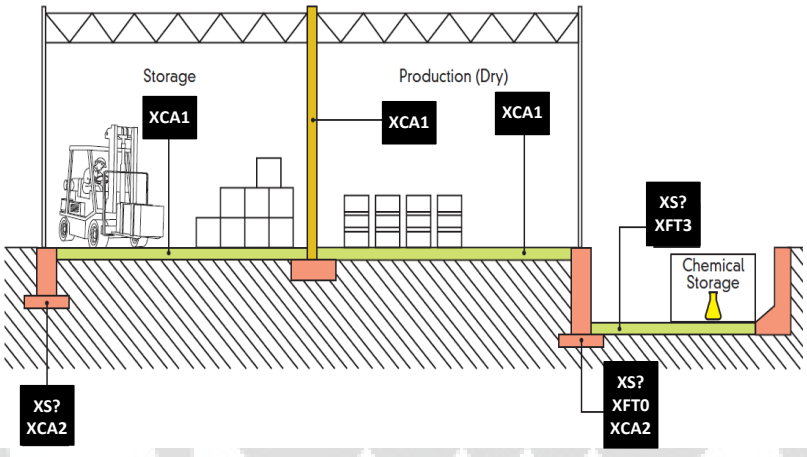
ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar



شکل ت ۶-۲ مصداقی از شرایط محیطی X0 (بدون خطر خوردگی یا حملات شیمیایی)



شکل ت ۶-۳ مصادیقی از شرایط محیطی مهاجم مختلف در یک سازه



شکل ت ۶-۴ مصادیقی از شرایط محیطی مهاجم مختلف در یک ساختمان

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۳-۳ در مواردی‌که بتن خارج از محدوده رده‌بندی جدول ۶-۱ در معرض حملات شیمیایی خاص موجود در آب یا خاک قرار می‌گیرد و یا سرعت آب حاوی املاح شیمیایی مجاور بتن زیاد می‌باشد، باید مطالعات خاص از نظر دوام انجام شود.

تفسیر/توضیح

جدول ۶-۱ رده‌بندی شرایط محیطی از دیدگاه دوام بتن

ردیف	رده‌بندی	مشخصه رده	توصیف شرایط	تشریح نمونه‌هایی از شرایط محیطی مشابه با رده‌بندی
۱	**خطر خوردگی یا حملات شیمیایی وجود ندارد**	X0	بتن غیر مسلح یا بدون فلزات جاگذاری شده، در همه شرایط به غیر از شرایط یخزدن و آب شدن، بدون سایش	-
			بتن آرمه در شرایط خیلی خشک	- بتن در داخل ساختمان‌ها با رطوبت بسیار کم.
۲	**خوردگی ناشی از یون‌های کلرید آب دریای شور** (بتن دارای میلگرد یا سایر فلزات جاگذاری شده که در تماس با یون‌های توام کلرید و سولفات ناشی از آب دریا یا نمک‌های موجود در هوا هستند)	XCS1	بتن آرمه در معرض نمک‌های کم موجود در هوا و خیلی دور از دریا	- سازه‌های خیلی دور از ساحل (بیش از ۵ کیلومتر)
		XCS2	بتن آرمه دائماً غرقاب یا درون خاک آب‌دار یا مرطوب	- بخش‌هایی از سازه‌های دریایی که در آب دریا قرار دارند. - بخش‌هایی از سازه که در خاک ساحلی زیر سطح تراز آب دریای شور قرار دارند. - سازه‌های نسبتاً دور از ساحل (یک تا ۵ کیلومتر).
		XCS3	بتن آرمه در معرض نمک‌های زیاد موجود در هوا و بدون تماس مستقیم با آب دریا یا پاشش	- سازه‌های نزدیک ساحل (کمتر از یک کیلومتر)
		XCS4	نواحی در معرض پاشش و جزر و مد	- بخش‌هایی از سازه‌های دریایی در معرض پاشش و جزر و مد
۳	**خوردگی ناشی از یون‌های کلرید به غیر از آب دریای شور** (بتن دارای میلگرد یا سایر فلزات جاگذاری شده که در تماس با آب یا خاک حاوی یون‌های کلرید می‌باشند مانند: نمک‌های یخزدا)	XCD1	رطوبت متوسط	- سطوح بتنی در معرض یون‌های کلرید هوا
		XCD2	مرطوب، به ندرت خشک	- استخر شنا و یا مخازن آب حاوی کلر آزاد
		XCD3	بتن آرمه در تماس مستقیم با خاک اشباع آلوده به یون‌های کلرید	- قسمت‌هایی از ساختمان که در تماس با خاک مهاجم است، و زیر سطح آب شور زیرزمینی است.
		XCD4	چرخه‌های تر و خشک شدن با آب حاوی یون‌های کلرید	- بخش‌هایی از ساختمان که در معرض پاشش کلریدی قرار دارد، - روسازی‌های محوطه‌ها، - دال پارکینگ‌های طبقاتی.
۴	**خوردگی ناشی از کربناته شدن** (فقط بتن آرمه)	XCA1	شرایط خشک یا همواره مرطوب	- سطوحی که در محوطه بسته داخلی سازه قرار دارند، به استثنای محیط‌های داخلی سازه که رطوبت بالایی دارند. - سطوحی که همواره درون آب و بدون عوامل آسیب‌رسان باشند.
		XCA2	شرایط غالباً مرطوب و به ندرت خشک	- سطوحی که در طولانی مدت در معرض آب باشد همچون بسیاری از پی‌ها.
		XCA3	شرایط با رطوبت محیطی متوسط	- سطوح خارجی بتن آرمه که از بارش مستقیم باران مصون است. - سطوحی که در معرض رطوبت هستند، همچون محیط حمام و آشپزخانه. - بتن در مناطق گرم و خشک یا شهرها.
		XCA4	چرخه‌های تر و خشک شدن و غلظت زیاد کربن دی اکسید	- سطوحی که در معرض چرخه‌های تر و خشک شدن و هستند. - بتن در پالایشگاه‌ها نیروگاه‌های حرارتی، کارخانه‌های سیمان و آهک‌پزی که کربن دی اکسید در محیط آن‌ها زیاد است. - بتن در شهرهای گرم و مرطوب، تونل‌های راه و راه‌آهن غیر برقی و پارکینگ‌ها بسته و طبقاتی.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

ردیف	رده‌بندی	مشخصه رده	توصیف شرایط	تشریح نمونه‌هایی از شرایط محیطی مشابه با رده‌بندی
۵	**بتن در معرض چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن و در محیط مرطوب قرار دارد**	XFT0	درجه اشباع کم	- احتمال چند چرخه یخ زدن و آب شدن در هر سال وجود دارد.
		XFT1	درجه اشباع متوسط احتمال حضور نمک‌های یخ‌زدا وجود ندارد	- احتمال چرخه‌های یخ زدن و آب شدن در هر سال وجود دارد.
		XFT2	درجه اشباع زیاد احتمال حضور نمک‌های یخ‌زدا وجود ندارد	- احتمال چرخه‌های یخ زدن و آب شدن در اجزاء قائم وجود دارد.
		XFT3	درجه اشباع زیاد احتمال حضور نمک‌های یخ‌زدا وجود دارد	- چرخه‌های یخ زدن و آب شدن در اجزاء قائم وجود دارد.
۶	**بتن در معرض حملات سولفاتی قرار دارد، اما یون‌های کلرید قابل توجهی وجود ندارد**	XS1	احتمال حملات سولفاتی متوسط	- بخش‌هایی از سازه بتنی که در معرض یون‌های سولفات موجود در آب و خاک مطابق **جدول ۶-۸** قرار دارند.
		XS2	احتمال حملات سولفاتی شدید	- بخش‌هایی از سازه بتنی که در معرض یون‌های سولفات موجود در آب و خاک مطابق **جدول ۶-۸** قرار دارند.
		XS3	احتمال حملات سولفاتی خیلی شدید	- بخش‌هایی از سازه بتنی که در معرض یون‌های سولفات موجود در آب و خاک مطابق **جدول ۶-۸** قرار دارند.
۷	**بتن در شرایط بروز واکنش قلیایی – سنگدانه قرار دارد**	XAS1	واکنش ناشی از سنگدانه‌های سیلیسی	- بخش‌هایی از سازه بتنی که ممکن است با سنگدانه‌های سیلیسی واکنش‌زا و سیمان پرقلیا ساخته شده و دارای رطوبت باشند.
		XAS2	واکنش ناشی از سنگدانه‌های کربناتی	- بخش‌هایی از سازه بتنی که ممکن است با سنگدانه‌های کربناتی واکنش‌زا و سیمان پرقلیا ساخته شده و دارای رطوبت باشند.

متن اصلی

۶-۴ الزامـات فنی و اجرایی برای تامین دوام بتن

۶-۴-۱ کلیات

نفوذپذیری بتن، عامل اصلی موثر بر کاهش دوام و پایایی آن است. در ساخت بتن باید، با توجه به شرایط محیطی مکان طرح، تدابیری بکار برد که نفوذپذیری بتن کاهش یابد. از جمله این تدابیر می‌توان عوامل «الف» تا «پ» زیر را نام برد:

الف- بکار گیری مواد متشکله مناسب در بتن شامل: سیمان، مصالح سنگی، آب و مواد افزودنی؛

ب- انتخاب طرح مخلوط مناسب بتن بویژه مقدار مواد سیمانی و نسبت آب به مواد سیمانی؛

پ- دقت در اجرای ساخت بتن، شامل: تهیه، ریختن، متراکم کردن و عمل‌آوری آن.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴ الزامـات فنی و اجرایی برای تامین دوام بتن

ت ۶-۴-۱ کلیات

برای افزایش پایایی بتن می‌توان نفوذپذیری آن را با رعایت موارد «الف» تا «ر» تقلیل داد:

الف- استفاده از سیمان مناسب؛

ب- استفاده از آب و سنگدانه‌های مناسب؛

پ- بهینه‌سازی عیار سیمان؛

ت- استفاده از نسبت جایگزینی مناسب مواد پوزولانی یا شبه سیمانی؛

ث- انتخاب صحیح و مناسب نسبت‌های مخلوط بتن؛

ج- استفاده از افزودنی‌های شیمیایی مانند روان‌کننده‌ها، مواد حباب هواساز و آب‌بند کننده‌ها، نم‌بند کننده‌ها و آب‌گریزها؛

چ- کاهش و محدود نمودن نسبت آب به مواد سیمانی (سیمان و پوزولان و مواد شبه‌سیمانی)؛

ح- رعایت محدودیت حداکثر دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی؛

خ- دقت در حمل و ریختن و پرهیز از جداشدگی؛

د- تأمین حداکثر تراکم با وسایل و روش‌های مناسب؛

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۲ الزامات دوام بتن در برابر خوردگی ناشی از یون‌های کلرید و آب دریا

۶-۴-۲-۱ **کلیات**

برای افزایش دوام سازه‌های بتن آرمه در برابر آسیب‌های ناشی از یون‌های کلرید در مناطق دریایی و غیر دریایی، لازم است تدابیری اتخاذ شود که در **بندهای ۶-۴-۲-۳** تا **۶-۴-۲-۶** ارایه شده‌است.

۶-۴-۲-۲ الزامات رویارویی با آب دریا بسته به شرایط «الف» تا «پ» زیر می‌تواند مختلف باشد:

الف- چرخه‌های تر و خشک شدن و یا یخ زدن و آب‌شدن ناحیه جزر و مدی و ناحیه پاشش می‌تواند سبب بروز هوازدگی، حمله سولفاتی، خوردگی آرماتور و فرسایش شود. در این موارد آسیب‌پذیری بتن قابل ملاحظه است و باید برای رویاروئی با آن‌ها تدابیر مناسب به‌کار گرفته شود.

ب- در مواردی‌که بتن به‌طور کامل در آب قرار دارد، خطر یخزدگی، علی‌رغم اشباع بتن، کمتر است و شدت خوردگی نیز به دلیل عدم دسترسی به اکسیژن کاهش می‌یابد، و لزومی به انجام عملیات اضافی نیست.

پ- در قسمت‌های بالاتر از ناحیه پاشش، به دلیل عدم تر شدن بتن، خطر خرابی کمتر است، و لزومی به انجام عملیات اضافی نیست.

۶-۴-۲-۳ **طرح مخلوط بتن**

الزامات مربوط به طرح مخلوط بتن برای شرایط محیطی کلریدی، مطابق **جدول ۶-۲** است. در کاربری این جدول باید به محدودیت‌های «الف» تا «ث» زیر توجه داشت:

تفسیر/توضیح

ذ- عمل‌آوری دقیق و کافی با روش‌های مناسب؛

ر- ایجاد پوشش مناسب بر سطح بتن.

توجه شود رعایت این موارد بر اساس اهمیت مرتب نشده است؛ به‌طور مثال نسبت آب به مواد سیمانی می‌تواند اهمیت بیشتری داشته باشد. درحالی‌که رعایت بند «الف» در کاهش نفوذپذیری یون‌های کلرید موثر است، احتمال دارد بر کاهش نفوذپذیری در برابر آب یا هوا تاثیر چندانی نداشته باشد.

ت ۶-۴-۲ الزامات دوام بتن در برابر خوردگی ناشی از یون‌های کلرید و آب دریا

ت ۶-۴-۲-۱ کلیات

این دو شرایط محیطی، ممکن است دارای تفاوت‌هایی باشند، که در تفسیر هر بند به آن اشاره می‌شود.

ت ۶-۴-۲-۲

الف- همانگونه که گفته شد حمله سولفاتی در این حالت بندرت رخ می‌دهد، و استفاده از سیمان‌هایی که C_3A آن محدود به ۱۰ درصد است، توصیه می‌شود.

در ناحیه پاشش ممکن است علاوه بر خطرات شیمیایی، مانند خوردگی میلگرد، افزایش حجم ناشی از تبلور نمک‌های کلریدی و سولفاتی باعث خرابی فیزیکی نیز شود.

ب- بدلیل نفوذ سریع یون کلرید، شروع خوردگی در زمان کوتاه‌تری رخ می‌دهد، اما شدت خوردگی کاهش یافته و پیشرفت آن کند می‌شود و خطر خوردگی و خرابی بتن کاهش می‌یابد.

پ- تری و خشکی در این قسمت محتمل نیست و خرابی‌های فیزیکی نیز کمتر است، اما به هرحال نفوذ یون کلرید از طریق هوا یا از طریق حرکت نم موئینه می‌تواند به خوردگی میلگردها با سایر خرابی‌ها منجر شود.

ت ۶-۴-۲-۳ طرح مخلوط بتن

در **جدول ۶-۲** تا **جدول ۶-۶**، فرض بر آن است که آغاز خوردگی سازه در حدود ۲۵ سال و عمر آن در حدود ۳۰ سال باشد. بنابراین چنانچه نیاز به عمر بیشتری باشد، باید معیارهای مورد نظر را با توجه به طراحی دوام بر اساس عمر به صورت سخت‌گیرانه‌تر تغییر

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

الف - در محیط‌های دریایی آب‌شور و حاشیه آن، سیمان پرتلند باید بین ۶ تا ۱۰ درصد C_3A داشته باشد. همچنین استفاده از سیمان نوع ۵ برای بتن آرمه در شرایط حمله کلریدی مجاز نیست.

ب- سیمان‌های آمیخته شامل ترکیب سیمان پرتلند با مواد جایگزین سیمان، نظیر دوده سیلیس، سرباره، خاکستر بادی و پوزولان‌های طبیعی یا مصنوعی با حداقل مقادیر: دوده سیلیس ۵ درصد، سرباره ۲۵ درصد، پوزولان طبیعی ۲۰ درصد، خاکستر بادی ۱۵ درصد، زئولیت و متاکائولن ۱۰ درصد، مناسب هستند. چنانچه از دوغاب دوده سیلیس یا موارد مشابه استفاده می‌شود، مقدار حداقل دوده سیلیس موجود در بتن باید از حداقل مقدار فوق تبعیت نماید.

پ- حداکثر مواد سیمانی به ۴۲۵ کیلوگرم در متر مکعب محدود می‌شود. در صورت نیاز به مواد سیمانی بیشتر، بویژه برای حداکثر اندازه‌های کوچکتر از ۲۰ میلی‌متر یا بتن‌های خودتراکم یا پاششی، باید اقدام‌های لازم به‌منظور جلوگیری از ترک‌خوردگی‌های ناشی از جمع‌شدن بر اثر خشک‌شدن و تنش‌های حرارتی ایجاد شده در قطعات حجیم، اعمال و کیفیت کار توسط مهندس مشاور تایید شود.

ت- حداقل و حداکثر مقادیر سیمان‌های ارایه شده در این جدول و بند «پ» بالا، برای حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ۲۰ میلی‌متر است. در صورت کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، می‌توان مقدار مواد سیمانی را افزایش داد. افزایش حداکثر اندازه سنگدانه در چنین شرایطی توصیه نمی‌شود.

ث- در صورت مصرف مواد حباب‌ساز، می‌توان حداقل رده بتن را ۵ مگاپاسکال کاهش داد، مشروط بر اینکه از رده C30 کمتر نشود.

تفسیر/توضیح

داد. چنانچه رویارویی در سواحل دریای خزر مد نظر باشد، توصیه می‌شود یک درجه تخفیف در شرایط رویارویی **جدول ۶-۲** الی **جدول ۶-۶** در نظر گرفته شود.

الف - در مواردی که تنها احتمال رویارویی با کلرید وجود داشته باشد می‌توان از سیمان‌های پرتلند حاوی C_3A بیش از ۱۰ درصد نیز استفاده کرد (مانند کف سازی‌ها و پارکینگ‌ها).

ب- گاه دیده شده است که مصرف برخی مواد جایگزین سیمان به میزان کمتر از مقادیر ذکر شده نتوانسته است از نفوذ یون کلرید جلوگیری کند، همچنین تجربه نشان می‌دهد که نفوذپذیری بتن در برابر یون کلرید، برای مقادیری کمتر از مقدار حداقل، ممکن است اثرات منفی نیز در پی داشته باشد. نمی‌توان از درون‌یابی برای تخمین میزان نفوذپذیری بتن بدون مواد جایگزین و دارای حداقل مواد جایگزین سیمان استفاده نمود. بعنوان مثال، چنانچه از ۲/۵ درصد دوده‌سیلیس به عنوان جایگزین سیمان استفاده شود، کیفیت نفوذپذیری بتن الزاماً در حد فاصل کیفیت بتن حاوی صفر و ۵ درصد دوده‌سیلیس قرار ندارد و حتی ممکن است از بتن حاوی صفر درصد دوده‌سیلیس نیز، در برابر یون کلرید، نفوذپذیرتر باشد.

پ- بدیهی است در بتن‌های خودتراکم یا بتن‌های پاششی با حداکثر اندازه کوچکتر از ۲۰ میلی‌متر نیاز به افزایش مواد سیمانی به ویژه برای نسبت‌های آب به مواد سیمانی کم، وجود دارد. به هر حال مشکلات ناشی از افزایش مواد سیمانی و حجم خمیر سیمان باید به حداقل برسد تا به دوام بتن لطمه نزند. نفوذ یون‌کلرید معمولا از خمیر سیمان یا ناحیه انتقال انجام می‌شود و جمع شدگی بتن نیز به نوعی حجم خمیر سیمان و عیار مواد سیمانی آن ارتباط دارد. گرمازائی نیز با افزایش عیار مواد سیمانی رابطه مستقیم دارد که به ایجاد تنش‌های حرارتی منجر می‌شود.

ت- پیشنهاد می‌شود برای بتن‌های معمولی حداقل و حداکثر مجاز مواد سیمانی با حداکثر اندازه ۱۲/۵ میلی‌متر، به میزان ۲۵ کیلوگرم، و برای حداکثر اندازه ۹/۵ میلی‌متر به میزان ۵۰ کیلوگرم، افزایش یابد.

ث - در **جدول ۶-۲** در شرایطی که مصرف مواد جایگزین سیمان اجباری نیست، در صورتی که از مواد حباب‌ساز استفاده شود می‌توان حداکثر اندازه سنگدانه یا نسبت آب به مواد سیمانی را

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۲-۴ حداکثر یون‌های کلرید مجاز در بتن

به‌منظور حفاظت میلگردها در برابر خوردگی، حداکثر کلرید قابل حل در «آب» و یا در «اسید»، در بتن سخت‌شده ۲۸ روزه نباید از مقادیر حداکثر مجاز در **جدول ۶-۳** تجاوز کند. محدودیت‌های این جدول مربوط به سازه‌های بتن آرمه در حال ساخت است. در بتن غیر مسلح و یا در بتن‌های تعمیری این محدودیت‌ها کاربرد ندارد.

تفسیر/توضیح

افزایش داد. به هر حال افزایش حداکثر اندازه سنگدانه در چنین شرایطی نیز توصیه نمی‌شود.

ت ۶-۴-۲-۴ حداکثر یون‌های کلرید مجاز در بتن

یون‌های کلرید بتن سخت‌شده باید از نمونه پودری درون بتن به‌دست آید. در شرایطی که انجام آزمایش فوق، امکان‌پذیر نباشد، می‌توان مقدار یون‌های کلرید اجزا تشکیل دهنده بتن شامل، سیمان، آب، مواد افزودنی شیمیایی و معدنی و سنگدانه، را به‌دست آورد و مجموع آن را بر حسب درصد وزنی سیمان محاسبه و با مقادیر کلرید محلول در اسید **جدول ۶-۳** مقایسه نمود. مقادیر حداکثر مجاز یون‌های‌کلرید بر حسب درصد وزنی سیمان آمده است. در صورتی که قرار باشد مقادیر یون‌های کلرید بر حسب وزن بتن تعیین شود، باید مقدار سیمان بر حسب کیلوگرم بر هر مترمکعب را بر وزن مخصوص بتن سخت‌شده خشک تقسیم کرد و مقدار حاصل را در مقدار یون‌های کلرید بر حسب وزن سیمان ضرب نمود. برای مثال چنانچه مقدار سیمان بتن ۳۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب و وزن مخصوص بتن خشک سخت‌شده، ۲۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب باشد، برای محاسبه درصد یون‌های کلرید نسبت به بتن باید درصد یون‌های کلرید نسبت به وزن سیمان را بر عدد ۶ تقسیم نمود.

جدول ۶-۲ ضوابط طرح مخلوط بتن برای شرایط محیطی در معرض یون‌های کلرید

طبقه‌بندی	دسته‌بندی	نوع سیمان انتخابی	حداقل مقدار مواد سیمانی، کیلوگرم در متر مکعب	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل رده بتن
۱	XCD1 XCS1	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و CEM I – SR10 و سایر سیمان‌های آمیخته	۳۲۵	۰/۵	C30
۲	XCD2 XCD3 XCS2	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و CEM I – SR10 و سایر سیمان‌های آمیخته	۳۲۵	۰/۴۵	C35
۳	XCD4 XCS3	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و CEM I – SR10 با مواد پوزولانی یا سرباره یا سیمان‌های آمیخته	۳۵۰	۰/۴۰	C35
۴	XCS4	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و CEM I – SR10 با مواد پوزولانی یا سرباره یا سیمان‌های آمیخته	۳۷۵	۰/۳۷	C40

جدول ۶-۳ حداکثر مجاز یون‌های‌کلرید در بتن آرمه از نظر خوردگی میلگردها

شرایط محیطی در زمان بهره‌برداری	نسبت کلرید به مواد سیمانی بر حسب درصد وزنی	
	قابل حل در آب استاندارد ملی ۸۹۴۷	قابل حل در اسید استاندارد ملی ۸۹۴۶
در معرض رطوبت و کلریدها، مطابق رده **XCD4**، **XCS3**، **XCS4**	۰/۰۸	۰/۱
در معرض رطوبت و کلریدها، مطابق رده **XCD2**،**XCD1**، **XCD3**، **XCS1**، **XCS2**	۰/۱	۰/۱۳
در معرض رطوبت بدون تماس با یون‌های کلرید	۰/۱۵	۰/۲۰
در محیط خشک یا محافظت شده در مقابل رطوبت	۰/۳۰	۰/۴۰

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۲-۵ آزمایش‌ها و محدودیت‌های مربوط به نفوذپذیری آب و یون‌های کلرید

آزمایش‌های رایج برای تعیین نفوذپذیری آب و یون‌های کلرید همراه با الزامات نتایج آن‌ها در **جدول ۶-۴** ارایه شده است. در کاربرد این جدول باید به محدودیت‌های بندهای «الف» تا «پ» زیر توجه داشت:

الف - سن آزمایش‌های فوق ۲۸ روز در نظر گرفته شده است. چنانچه از سیمان‌های آمیخته یا مواد پودری معدنی جایگزین سیمان به جز دوده‌سیلیس استفاده می‌شود، اجازه داده می‌شود تا با نظر مهندس مشاور و با توجه به میزان کندی پیشرفت هیدراته شدن مواد مکمل سیمان، آزمایش‌های فوق در سن ۵۶ یا ۹۰ روز انجام شود و از معیارهای مربوط به ۲۸ روز استفاده شود.

ب- انجام آزمایش‌های شماره ۱ یا ۲، جذب آب و عمق نفوذ آب، برای طرح مخلوط به همراه حداقل دو آزمایش از ردیف‌های ۳ تا ۶ در شرایط رویارویی ستون‌های ۲، ۳ و ۴ الزامی است. در مورد ستون ۱ علاوه بر آزمایش ردیف‌های ۱ یا ۲، صرفا انجام یکی آزمایش‌های ردیف‌های ۵ و ۶، لازم است.

پ- برای کنترل بتن در کارگاه، انجام آزمایش ردیف ۱ به همراه حداقل یکی از آزمایش‌های ردیف‌های ۳ تا ۶ ضرورت دارد. در مورد شرایط رویارویی ستون ۱، صرفا می‌توان از آزمایش ردیف ۱ استفاده نمود، هر چند توصیه می‌شود یکی از آزمایش‌های ۵ یا ۶ نیز انجام شود. در شرایط جزر و مد یا پاشش آب دریا و یا تا فاصله ۱۰۰۰ متری از ساحل، آزمایش ردیف ۱ به همراه حداقل دو آزمایش از بین آزمایش‌های ردیف ۳ تا ۶ اجباری است.

۶-۴-۲-۶ پوشش بتنی روی میلگردها

۶-۴-۲-۶-۱ پوشش بتنی روی میلگردها برابر با حداقل فاصله بین سطح بتن تا نزدیک‌ترین رویه میلگرد، اعم از طولی، عرضی یا سیم آرماتوربندی، است.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۲-۵ آزمایش‌ها و محدودیت‌های مربوط به نفوذ پذیری آب و یون‌های کلرید

ت ۶-۴-۲-۶ پوشش بتنی روی میلگردها

ت ۶-۴-۲-۶-۱ در صورتی‌که بتن دارای سطح فرورفته و برجسته (نقش‌دار یا دارای شکستگی) باشد، ضخامت پوشش باید از عمق فرورفتگی‌ها اندازه‌گیری شود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

جدول ۶-۴ مقادیر مجاز مشخصه از آزمایش‌های نفوذ و دوام بتن برای تامین پایایی بتن‌آرمه

آزمایش / رده‌بندی شرایط محیطی		محدوده مجاز مقادیر مشخصه (دوام)			
		۱	۲	۳	۴
		XCD1 و XCS1	XCD2 و XCS2 و XCD3	XCS3 و XCD4	XCS4
۱- حداکثر جذب آب نیم‌ساعته، استاندارد ملی۱۲۲-۱۶۰۸، درصد		۳/۵	۳	۲/۵	۲/۰
۲- حداکثر عمق نفوذ آب تحت فشار، استاندارد ملی ۵-۳۲۰۱، میلی‌متر		۶۰	۴۵	۳۰	۲۰
۳- حداکثر مقاومت در برابر نفوذ یون کلرید به روش الکتریکی(RCPT)، استاندارد ملی ۲۰۷۹۳، کولمب		–	۳۵۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰
۴- حداکثر مقدار مهاجرت کلرید RCMT					
روش الف) استاندارد ملی ۲۱۴۷۹، میلی‌متر بر ولت. ساعت		-	۰/۰۴۵	۰/۰۳	۰/۰۲
روش ب) استاندارد ملی ۲۱۴۷۹، متر مربع بر ثانیه		-	$۱۸e^{-۱۲}$	$۱۲e^{-۱۲}$	$۶e^{-۱۲}$
۵- حداقل مقاومت ویژه الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر، AASHTO T 358، اهم-متر	(۱)	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۷۵
۶- حداکثر هدایت ویژه الکتریکی استاندارد ملی۱۵۴۲۸، میلی‌زیمنس بر متر	(۲)	۲۰	۱۵	۱۲	۸

*(۱) مقاومت‌های ویژه الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر برای آزمونه‌های استوانه‌ای ۱۵۰*۳۰۰ میلی‌متر است، در صورتی که از استوانه ۱۰۰*۲۰۰ میلی‌متر استفاده شود، معیارهای مندرج در جدول باید در ۱/۲۵ ضرب شود.*

(۲) مقاومت ویژه الکتریکی حجمی، با هدایت ویژه الکتریکی بتن (ردیف۶) رابطه معکوس دارد. بنابراین چنانچه معکوس هدایت ویژه الکتریکی در عدد ۱۰۰۰ ضرب شود، مقدار مقاومت ویژه الکتریکی حجمی بتن بر حسب اهم – متر به‌دست می‌آید که معمولا در حدود دو سوم مقاومت ویژه الکتریکی چهار نقطه‌ای ونر است.

متن اصلی

۶-۴-۲-۶-۲ ضخامت پوشش بتنی میلگردها با توجه به شرایط محیطی و نوع عضو مورد نظر نباید از مقادیر داده شده در **جدول ۶-۵** و محدودیت‌های بندهای «الف» و «ب» زیر کمتر باشد:

الف- قطر میلگردها؛

ب- چهار سوم بزرگ‌ترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها.

۶-۴-۲-۶-۳ میلگردها و تمام قطعات و صفحه‌های فولادی پیش‌بینی شده برای توسعه آتی ساختمان باید به‌نحو مناسبی در مقابل خوردگی محافظت شوند.

۶-۴-۲-۶-۴ در تمام موارد، ضخامت پوشش، نباید از ضوابط مربوط به محافظت در برابر حریق، موضوع مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، کمتر انتخاب شود.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۲-۶-۲ بدیهی است با توجه به ضخامت پوشش بتنی موجود در تیرچه‌های سقف‌های تیرچه بلوک، و مشابه آن نمی‌توان از آن‌ها در مناطق خورنده کلریدی (مانند حاشیه دریای عمان و خلیج فارس) با توجه به شرایط محیطی حاکم و پوشش‌های موجود بر روی تیرچه، استفاده نمود مگر اینکه نوع تیرچه و پوشش‌های آن تغییر یابد و ضوابط **جدول ۶-۲** الی **جدول ۶-۵** برای شرایط محیطی موجود رعایت شود.

در مواردی‌که از نرم‌افزارها یا مدل‌های طراحی بر اساس دوام استفاده می‌شود، ضخامت پوشش بدست آمده از آن‌ها باید ملاک عمل قرارگیرد.

ت ۶-۴-۲-۶-۳ برای این منظور می‌توان از موادی مانند رزین اپوکسی یا رزین اپوکسی غنی شده با روی، استفاده نمود. همچنین می‌توان با آغشته کردن سطوح نمایان فولاد با گریس یا مواد قیری یا قطرانی و پوشاندن آن‌ها در لفافه‌های پلاستیکی، تا حدودی از خوردگی آن‌ها جلوگیری نمود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

جدول ۶-۵ مقادیر حداقل ضخامت پوشش بتن روی میلگردها در شرایط محیطی خورنده کلریدی، میلی‌متر

نوع عضو	نوع شرایط محیطی			
	(۱) XCD1 XCS1	(۲) XCS2 XCD2 XCD3	(۳) XCS3 XCD4	(۴) XCS4
تیرها اصلی، ستون‌ها و دیوارها	۴۵	۵۰	۶۰	۷۵
دال‌ها و تیر فرعی، تیرچه	۳۵	۴۰	۵۰	۶۰
پوسته‌ها و صفحات پلیسه‌ای	۳۰	۳۵	۴۵	۵۵
شالوده‌ها	۵۰	۶۰	۷۵	۹۰

- در مواردی‌که حفاظت‌های سطحی بتن با مواد مناسب انجام شود، مقادیر پوشش بتنی را می‌توان کاهش داد. میزان کاهش، باید بر اساس نوع پوشش و نتایج مطالعات آزمایشگاهی بدست آید.
- اگر رده بتن ۵ مگاپاسکال بیش از حداقل رده مندرج در جدول ۶-۲ باشد می‌توان حداقل میزان پوشش را ۵ میلی‌متر کاهش داد.
- برای میلگرد با قطر بیش از ۳۶ میلی‌متر، مقادیر پوشش باید ۱۵ درصد اضافه شود.
- حداکثر مقدار پوشش روی میلگرد نباید از ۱/۱۵ برابر مقدار «حداقل»، بیشتر شود.

۶-۴-۲-۶-۵ جنس «فاصله نگهدار» یا لقمه‌ها باید ترجیحا از نوع بتنی باشد. کیفیت بتن یا ملات بکار رفته باید مشابه بتن اصلی در نظر گرفته شود.

۶-۴-۳ الزامات دوام بتن در برابر خوردگی ناشی از کربناته شدن

۶-۴-۳-۱ در قطعات بتن‌آرمه برای جلوگیری از خوردگی آرماتورها باید الزامات جدول ۶-۶ رعایت شود. اعداد این جدول شامل قطعات حاوی آرماتورهای خاص مانند آرماتور زنگ‌نزن و یا دارای پوشش حفاظتی نمی‌شود، در چنین مواردی باید با انجام آزمایش‌های خاص بر روی مصالح از عملکرد مناسب آن‌ها اطمینان حاصل شود.

۶-۴-۳-۲ در مواردی‌که از مواد جایگزین سیمان برای ساخت بتن استفاده می‌شود، مقدار سیمان معادل را باید با استفاده از رابطه (۶-۱) و جدول ۶-۷ بدست آورد و سپس با الزامات جدول ۶-۶ مقایسه نمود.

(۶-۱) مقدار سیمان معادل = (مقدار مواد افزودنی)×k+

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۲-۶-۵ در مواردی‌که شرایط رویاروئی، از نوع حاد مانند (XCS4، XCS3، XCD4) نمی‌باشد، می‌توان از فاصله نگهدار پلیمری با استحکام کافی استفاده نمود.

ت ۶-۴-۳ الزامات دوام بتن در برابر خوردگی ناشی از کربناته شدن

ت ۶-۴-۳-۱ مشخصات بتن و مقادیر حداقل مقاومت برای تامین دوام در برابر خوردگی میلگرد ناشی از کربناته شدن برای عمر ۱۰۰ سال و سنگدانه‌های معمولی با حداکثر اندازه ۲۰ میلی‌متر داده شده است.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

جدول ۶-۶ ضوابط مخلوط بتن برای شرایط محیطی خوردگی ناشی از کربناته شدن برای بتن معمولی

شرایط محیطی	پوشش روی میلگرد، میلی‌متر / مشخصات مخلوط بتن	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
XCA1	حداقل رده بتن	C25	C20	C20	C20	C20	C20	C20	C20
	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
	حداقل مقدار مواد سیمانی	۳۲۵	۳۰۰	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۵	۲۷۵
XCA2	حداقل رده بتن	-	C30	C25	C25	C25	C25	C25	C25
	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	-	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰
	حداقل مقدار مواد سیمانی	-	۳۲۵	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
XCA3	حداقل رده بتن	-	-	C30	C30	C25	C25	C25	C25
	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	-	-	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
	حداقل مقدار مواد سیمانی	-	-	۳۲۵	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
XCA4	حداقل رده بتن	-	-	C35	C30	C25	C25	C25	C25
	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	-	-	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۵۵
	حداقل مقدار مواد سیمانی	-	-	۳۵۰	۳۲۵	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰

- رواداری منفی مجاز ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها حداکثر (۱۰-) میلی‌متر است. همچنین با افزایش مقدار پوشش روی میلگرد بیش از ۶۰ میلی‌متر، تغییری در مشخصات مخلوط بتن داده نمی‌شود.
- حداقل مقدار مواد سیمان به کیلوگرم در متر مکعب بیان شده است.

جدول ۶-۷ ضریب اصلاح k مقدار سیمان با در نظر گرفتن مواد جایگزین سیمان

نوع ماده جایگزین سیمان	حداکثر درصد جایگزینی نسبت به مواد سیمانی	ضریب اصلاح k	استاندارد ملی یا بین‌المللی
پوزولان طبیعی	۲۵	۰٫۴	۳۴۳۲ و ۳۴۳۳
دوده‌سیلیس	۱۰	۲٫۰	۱۳۲۷۸
سرباره کوره آهن‌گدازی	۵۰	۰٫۶	۳۵۱۷
خاکستر بادی	۲۵	۰٫۴	EN 450-1

حداکثر میزان جایگزینی زئولیت ۱۵ درصد و متاکائولن ۲۰ درصد توصیه می‌شود. در مورد ضریب اصلاح k این مواد اطلاعات دقیقی در دست نیست.

متن اصلی

تفسیر/توضیح

الف- در صورتی‌که حداکثر نسبت جایگزینی پوزولان طبیعی یا خاکستربادی به مجموع وزن مواد سیمانی کمتر از ۲۵ درصد باشد، مقدار ضریب اصلاح k، ۰٫۴ در نظر گرفته می‌شود. در نسبت‌های جایگزینی بیش از ۲۵ درصد، از اثر مازاد بر ۲۵ درصد مواد پوزولانی مذکور صرف‌نظر می‌شود.

ب- مقدار ضریب اصلاح k برای دوده‌سیلیس برابر با ۲٫۰ است. باید حداکثر نسبت دوده‌سیلیس به مواد سیمانی ۱۰ درصد در نظر گرفته شود و از اثر مازاد بر ۱۰ درصد دوده‌سیلیس به عنوان ماده جایگزین سیمان صرفنظر شود.

پ- ضریب اصلاح k برای سرباره کوره آهن‌گدازی باید ۰٫۶ در نظر گرفته شود و حداکثر مقدار سرباره نسبت به مواد سیمانی برابر ۵۰ درصد منظور شود و از اثر مقادیر بیشتر سرباره صرفنظر می‌شود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۴ الزامات دوام بتن در برابر حمله سولفات‌ها

۶-۴-۴-۱ سازه‌های بتنی در تماس با یون‌های سولفات، به درجات مختلف، ممکن است مورد حمله سولفاتی قرار گیرند. منشاء این یون‌ها ممکن است خاک، آب زیرزمینی، آب دریا، پساب‌های صنعتی و غیره باشد. در چنین شرایطی هر سازه بتنی باید بررسی و ارزیابی شود.

۶-۴-۴-۲ سازه بتنی که در بالای سطح آب زیرزمینی قرار دارند نیز ممکن است در اثر حرکت رو به بالای یون‌های سولفات از فضاهای مویینه خاک در معرض حمله سولفاتی قرار گیرند. این نوع سازه‌ها نیز باید در ارتباط با این حمله‌ها بررسی شوند و حداقل رده شرایط محیطی مرتبط با خاک و آب را برآورده نمایند.

۶-۴-۴-۳ برای بتن‌های در معرض خطر حمله سولفاتی، باید حداقل رده بتن، نوع مواد سیمانی، حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی مطابق **جدول ۶-۸** باشد. الزامات این جدول برای حمله توأم سولفات و کلرید، به‌ویژه در آب شور دریا یا آب‌های زیرزمینی و خاک‌های شور کاربردی ندارد.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۴ الزامات دوام بتن در برابر حمله سولفات‌ها

ت ۶-۴-۴-۱ برای وقوع حمله سولفاتی نیاز به رطوبت وجود دارد. بنابراین صرف وجود سولفات در خاک نمی‌تواند به حمله مخرب به بتن منجر شود. بدیهی است نشت آب به درون زمین یا ایجاد نم موئینه می‌تواند شرایط حمله سولفاتی را فراهم کند.

هنگامی که تنها بخشی از سازه مدفون بوده و یا در تماس با خاک و یا آب سولفات‌دار باشد، تبخیر مستمر آب می‌تواند منجر به باقی ماندن غلظت بسیار زیادی از یون‌های سولفات در بتن شود. در نتیجه احتمال وقوع حمله سولفاتی شدید با وجود غلظت نه چندان زیاد یون‌های سولفات موجود در خاک وجود دارد.

جاری بودن آب سطحی یا زیرزمینی می‌تواند حمله سولفاتی شدیدتری نسبت به آب ساکن دارای همان غلظت یون‌های سولفات ایجاد کند. در این حالت می‌توان شرایط شدیدتری را برای حمله سولفاتی در **جدول ۶-۸** در نظر گرفت.

ت ۶-۴-۴-۲ نم موئینه حاوی سولفات می‌تواند از درون بتن بیرون از خاک یا آب، بالا آمده و حمله سولفاتی خود را به انجام رساند. این ارتفاع می‌تواند در بتن حتی تا یک متر نیز برسد.

ت ۶-۴-۴-۳ برای حمله توام سولفات و کلرید به **بند ۶-۴-۲-۳ الف** مراجعه شود. در مواردی‌که سولفات به همراه مقدار قابل توجهی از کلرید وجود داشته باشد، انبساط ناشی از حمله سولفاتی با حضور کلرید کاهش می‌یابد، و خطر ترک خوردگی نیز کم می‌شود.

برای مثال در آب شور خلیج فارس و دریای عمان که غلظت سولفات (SO_4) حدود ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است، برای مقابله با حمله سولفاتی نیازی به سیمان‌های با مقاومت زیاد در برابر سولفاتی‌ها مانند سیمان پرتلند نوع پنج نیست. همچنین در بتن مسلح اولویت با مقابله با خوردگی میلگرد است و بدین ترتیب نباید از سیمان‌هایی شبیه سیمان پرتلند نوع پنج که دارای C_3A کمتر از ۵ درصد می‌باشند استفاده نمود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

جدول ۶-۸ الزامات مخلوط بتن در برابر یون‌های سولفاتی

شرایط محیطی	مقدار یون سولفات (SO_4) محلول در آب موجود در خاک (٪وزنی) (۱)	مقدار یون سولفات (SO_4) در آب، میلی‌گرم بر لیتر (۱)	نوع مواد سیمانی		حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل رده بتن (۲)
			سیمان‌های پرتلند	سیمان‌های آمیخته		
X0	۰/۱ >	۱۵۰>	-	-	-	C20
XS1	۰/۲۰>SO_4^{-2} ≥۰/۱۰	۱۵۰۰ >SO_4^{-2} ≥۱۵۰ یا آب دریا	نوع ۲ (۴و۵)	با مقاومت سولفاتی متوسط (۳)	۰/۵۰	C25
XS2	۲/۰۰ ≥SO_4^{-2} ≥۰/۲۰	۱۰۰۰۰ ≥SO_4^{-2} ≥۱۵۰۰	نوع ۵ (۵)	با مقاومت سولفاتی زیاد (۳)	۰/۴۵	C30
XS3 گزینه۱	۲/۰۰ <	۱۰۰۰۰<	نوع ۵ + پوزولان یا سرباره (۶)	با مقاومت سولفاتی زیاد + پوزولان یا سرباره (۳و۶)	۰/۴۵	C30
XS3 گزینه۲			نوع ۵ (۷)	با مقاومت سولفاتی زیاد (۳)	۰/۴۰	C35

(۱) روش‌های تعیین یون سولفات در آب یا خاک در **بندهای ۶-۴-۴-۴ و ۶-۴-۴-۵** گفته شده است.

(۲) رعایت این محدودیت برای بتن‌های سبکدانه الزامی است. زیرا کنترل نسبت آب به مواد سیمانی عملاً در بتن‌های سبکدانه میسر نمی‌شود. هرچند برای بتن معمولی نیز توصیه می‌شود.

(۳) مقاومت سولفاتی متوسط و زیاد در **جدول ۶-۹** ارایه شده است.

(۴) برای آب‌های شور استفاده از سیمان پرتلند نوع ۲ دریایی یا همه سیمان‌های پرتلند با C_3A کمتر از ۱۰ درصد مجاز است. در این حالت باید به **جدول ۶-۲** الی **جدول ۶-۵** مراجعه شود.

(۵) انواع دیگر سیمان پرتلند مانند نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ نیز می‌توانند به کار روند در صورتی‌که برای رده XS1، C_3A آن‌ها کمتر از ۸ درصد و برای XS2، C_3A آن‌ها کمتر از ۵ درصد باشد.

(۶) مقدار مواد مکمل سیمانی می‌تواند بر اساس سوابق موجود برای بهبود خاصیت ضد سولفاتی بودن سیمان پرتلند نوع ۵ به کار رود. همچنین می‌توان با توجه به انبساط ملات آن در آزمایش استاندارد ملی ۱۷۱۰۷ طبق **جدول ۶-۹** مقدار و نوع مواد مکمل را تعیین نمود.

(۷) اگر از سیمان پرتلند نوع ۵ یا هر سیمان پرتلند دیگری بعنوان تنها ماده سیمانی استفاده شود، انبساط آن طبق استاندارد ملی ۱۱۷۹۰ در طی ۱۴ روز باید کمتر از ۰/۰۴ درصد باشد.

جدول ۶-۹ الزامات ترکیبات مواد سیمانی برای مقاومت در برابر حمله سولفاتی

رده رویاروئی		رده مقاومت سولفاتی	حداکثردرصد انبساط در آزمایش استاندارد ملی ۱۷۱۰۷		
			۶ ماه	۱۲ ماه	۱۸ ماه
XS1		کم	۰/۱۰	-	-
XS2		متوسط	۰/۰۵	۰/۱۰ (۱)	-
XS3	گزینه ۱	زیاد	-	-	۰/۱۰
	گزینه ۲	زیاد	۰/۰۵	۰/۱۰ (۱)	-

(۱) انبساط ۱۲ ماهه زمانی اندازه‌گیری می‌شود که انبساط ۶ ماهه از حد مجاز، بیشتر شود.

متن اصلی

۶-۴-۴-۴ مقدار یون سولفات محلول در آب موجود در خاک باید بر اساس روش استاندارد ASTM C1580 تعیین شود.

۶-۴-۴-۵ مقدار یون سولفات موجود در آب کم سولفات زیرزمینی باید بر اساس روش استاندارد ملی ۲۳۵۳ و برای آب‌های زیرزمینی با سولفات متوسط تا زیاد مطابق استانداردهای ملی ۱۳۶۴۷ و ۱-۱۲۳۰۰ و برای آب دریا یا

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۴-۴ بمنظور تعیین سولفات محلول در آب موجود در خاک و همچنین سولفات محلول در اسید، می‌توان از استاندارد ملی ۱۲۸۲۷ نیز استفاده کرد.

ت ۶-۴-۴-۵ استاندارد ملی ایران به‌شماره ۲۳۵۳ مربوط به آب با مقادیر سولفات بین ۵ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر است. استاندارد ملی ایران ۱۳۶۴۷ برای آب‌هایی با سولفات ۳۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و سولفات‌های بیشتر با دقت کمتر تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم و استاندارد ملی ۱-۱۲۳۰۰ برای سولفات‌های بیشتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

آب‌های شور و غیر شرب، مطابق با استاندارد ASTM D4130 تعیین شود.

۶-۴-۴-۶ انواع سیمان‌های آمیخته، ترکیب از انواع سیمان‌های پرتلند با مقادیر مناسبی از افزودنی‌های معدنی نظیر دوده سیلیسی، خاکستر بادی نوع F، سرباره، انواع پوزولان‌های طبیعی و غیره در صورت برآورده کردن ضوابط مندرج در **جدول ۶-۹** می‌تواند در ردیف سیمان‌های مقاوم در برابر سولفات با رده‌های مقاومتی مختلف قرار گیرد.

۶-۴-۴-۷ استفاده از سیمان‌های پرتلند آهکی و یا بتن حاوی پرکننده‌های معدنی مانند کربنات کلسیم و یا کربنات منیزیم در شرایط محیطی، رده‌های XS1، XS2 و XS3 در هوای سرد و برای رده‌های XS2 و XS3 در شرایط محیطی معتدل و گرم مجاز نیست.

۶-۴-۴-۸ به‌دلیل احتمال تشدید حمله سولفاتی، استفاده از کلرید کلسیم، سایر تندگیرکننده‌های حاوی نمک‌های کلسیمی و یا هر نوع افزودنی شیمیایی حاوی کلرید در شرایط محیطی رده‌های XS2 و XS3 مجاز نیست.

۶-۴-۴-۹ علاوه بر حمله سولفاتی بیرونی که در آن یون‌های سولفات از محیط خارج وارد بتن شده و موجب خرابی می‌شوند، نوع خاصی از حمله سولفاتی داخلی وجود دارد که در اثر انبساط ناشی از تشکیل اترینگایت در بتن سخت‌شده به وجود می‌آید. این پدیده به تشکیل تاخیری اترینگایت موسوم است. به‌منظور جلوگیری از وقوع این نوع خرابی، کنترل میزان سولفات موجود در مخلوط بتن اولیه و نیز عدم عمل‌آوری حرارتی بتن در دماهای بالای ۷۰ درجه سلسیوس ضروری است.

تفسیر/توضیح

کاربرد دارد. همچنین استاندارد ASTM D4130 مربوط به آب‌های شور، آب دریا و آب‌غیر شرب با مقادیر یون‌های سولفات بیش از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر است.

ت ۶-۴-۴-۷ در مناطق سرد، حمله سولفاتی ممکن است به‌صورت نوع خاص و فوق‌العاده شدیدی بروز نماید که با عنوان حمله سولفاتی توماژیتی شناخته می‌شود.

ت ۶-۴-۴-۹ در آزمایش استاندارد ASTM C1038 باید نشان داده شود که انبساط ۱۴ روزه ناشی از وجود SO_3 سیمان کمتر از ۰/۰۲ درصد است. برای سیمان‌های آمیخته هنوز از آزمایش ASTM C 265 استفاده می‌شود.

در استاندارد ASTM C33 مقدار مجاز برای سولفات سنگدانه‌ها ارایه نشده‌است، اما در استاندارد ملی ۳۰۲ ایران حد ۰/۴ درصد قید شده است که معمولا مانع حمله سولفاتی داخلی می‌شود.

استفاده از مواد پوزولانی و سرباره‌ایی می‌تواند پدیده تشکیل اترینگایت تاخیری را کم کند و دمای مجاز عمل‌آوری را تا حدود ۸۵ درجه سلسیوس افزایش دهد. در این حالت مصرف حداقل ۲۵ درصد خاکستر بادی نوع F یا ۳۵ درصد خاکستر بادی نوع C یا ۳۵ درصد سرباره یا ۱۰ درصد متاکائولن، همچنین ترکیب ۵ درصد دوده‌سیلیسی با ۲۰ درصد خاکستر بادی نوع F یا ۲۵ درصد سرباره، توصیه می‌شود. استفاده از سیمان‌های ضد سولفات با قلیایی کم و ریزی کمتر از ۴۲۰ متر مربع بر کیلوگرم و سیمان‌های با مقاومت یک روزه کمتر از ۲۰ مگاپاسکال می‌تواند زمینه برای بالا بردن دمای عمل آوری تا حد ۸۵ درجه سلسیوس فراهم نماید.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۴-۱۰ حمله سولفاتی گاه بصورت فیزیکی از طریق افزایش حجم ناشی از تبلور نمک‌ها در محیط‌های خشک یا نسبتا خشک دیده می‌شود. در این مورد سطح بتن مجاور با هوا دچار آسیب و خرد شدگی تدریجی می‌شود.

کاهش نسبت آب به مواد سیمانی به کمتر از ۰/۴ و همچنین استفاده از سیمان‌های پرتلند به جای سیمان‌های آمیخته برای مقابله با این نوع حمله توصیه می‌شود.

۶-۴-۵ الزامات دوام بتن در رو یاروئی با چرخه‌های یخزدن و آب شدن

۶-۴-۵-۱ چرخه‌های یخزدن و آب‌شدن در بتن می‌تواند منجر به ترک‌خوردگی و فروپاشی بتن شود. برای کاهش آسیب دیدگی ناشی از این پدیده باید الزامات عملکردی و تجویزی جدول ۶-۱۰ و جدول ۶-۱۱ رعایت شود.

۶-۴-۵-۲ برای ارزیابی دوام بتن در برابر چرخه‌ها یخزدن و آب‌شدن می‌توان از آزمایش استاندارد ملی ۱۹۲۲۷ استفاده نمود. در صورتی‌که نتایج آزمایش حداقل ضریب دوام مشخصات فنی پروژه را برآورده نماید، می‌توان الزامات تجویزی را نادیده گرفت.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۴-۱۰ علاوه بر سولفات‌ها (بویژه سولفات سدیم) برخی مواد مانند نمک طعام و یا کربنات سدیم نیز باعث چنین تخریبی می‌شود.

راهکار جداسازی بتن از املاح خاک یا آب مانند استفاده از پوشش‌های محافظ یا از بین برنده موئینگی نیز توصیه می‌شود.

ت ۶-۴-۵ الزامات دوام بتن در رویاروئی با چرخه‌های یخزدن و آب شدن

ت ۶-۴-۵-۲ ضریب دوام به‌کمک آزمایش استاندارد ملی ۱۹۲۲۷ در ۳۰۰ چرخه بدست می‌آید. طراح پروژه می‌تواند، در صورت نیاز، حداقل ضریب دوام را مشخص نماید. معمولا بسته به اهمیت پروژه این مقدار ۶۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۶-۱۰ الزامات بتن در رویاروئی با چرخه‌های یخ زدن و آب شدن

شرایط محیطی	حداقل درصد حباب هوای کل مورد نیاز	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل رده بتن
XFT0	-	۰/۵۵	C25
XFT1	طبق جدول ۶-۱۱	۰/۵۵	C25
XFT2		۰/۴۵	C30
XFT3		۰/۴۰	C35

جدول ۶-۱۱ مقدار کل حباب‌های هوا برای بتن مقاوم در رویاروئی با چرخه‌های یخزدن و آب شدن

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه (میلی‌متر)	مقدار درصد حباب هوا در شرایط محیطی (۱)	
	XFT2 و XFT3	XFT1
۹/۵	۷/۵	۶
۱۲/۵	۷	۵/۵
۱۹	۶	۵
۲۵	۶	۴/۵
۳۸	۵/۵	۴/۵
۵۰	۵	۴
۶۳	۴/۵	۳/۵

۱- برای رواداری مقدار حباب هوا در طرح مخلوط و در محل مصرف به فصول کیفیت بتن و کنترل و پذیرش بتن مراجعه شود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۵-۳ برای ارزیابی دوام در برابر چرخه‌های یخزدن و آب‌شدن به همراه نمک‌های یخزدا می‌توان از آزمایش استاندارد ملی ۱۷۰۴۱ و آزمایش پوسته‌شدگی پیوست «ت» استاندارد ملی ۱۲۷۲۸ استفاده نمود. در صورتی‌که نتایج آزمایش حداکثر درجه یا مقدار پوسته‌شدگی مشخصات فنی پروژه را برآورده نماید، می‌توان الزامات تجویزی را نادیده گرفت.

۶-۴-۵-۴ در این بتن‌ها حداکثر جایگزینی مواد پوزولانی و سرباره‌ای نباید از مقادیر ارایه شده در **جدول ۶-۷** تجاوز نماید.

۶-۴-۵-۵ الزامات استاندارد ملی ۳۰۲، برای سلامت سنگدانه‌ها باید رعایت شود تا بتوان به بتن با دوام دست یافت.

۶-۴-۵-۶ بتن‌هایی که در معرض یخزدن و آب‌شدن، با یا بدون حضور نمک‌های یخزدا، قرار می‌گیرند، باید با مواد افزودنی حباب‌ساز ساخته شوند. مقدار درصد حباب هوا در بتن تازه باید طبق استانداردهای ملی ۳۸۲۳ و ۳۵۲۰ اندازه‌گیری شده و مطابق **جدول ۶-۱۱** باشد. در صورتی که مقاومت فشاری بتن از ۳۵ مگاپاسکال بیشتر باشد، می‌توان مقادیر **جدول ۶-۱۱** را به میزان یک درصد کاهش داد.

۶-۴-۶ الزامات دوام بتن در برابر واکنش قلیایی – سنگدانه

۶-۴-۶-۱ کلیات

۶-۴-۶-۱-۱ برخی از سنگدانه‌های سیلیسی و کربناتی فعال با اکسیدهای قلیایی سیمان (Na_2O, K_2O) در محیط مرطوب ترکیب می‌شوند و انبساط بتن را به‌همراه دارند که می‌توانند منجر به بروز ترک‌های موزائیکی شود. این نوع آسیب‌دیدگی در تمام جسم بتن ایجاد شده و به عکس آسیب دیدگی‌های

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۵-۳ در آزمایش استاندارد ۱۷۰۴۱ درجه پوسته‌شدگی سطحی بتن بدست می‌آید. طراح پروژه بسته به کاربرد بتن می‌تواند حداکثر درجه پوسته‌شدگی را مشخص نماید.
در آزمایش پیوست ت استاندارد ۱۲۷۲۸ مقدار پوسته‌شدگی بر حسب کیلوگرم بر متر مربع بدست می‌آید. طراح پروژه می‌تواند از حداکثر مقدار متوسط یک کیلوگرم بر متر مربع برای قبول نتایج استفاده کند یا مقدار دیگری را مشخص نماید. به نظر می‌رسد این روش استاندارد و مشخصات تعیین شده بر اساس آن نسبت به روش اول ارجح باشد.

ت ۶-۴-۵-۵ آزمایش سلامت سنگدانه و معیارهای آن در بحث دوام در برابر یخ زدن و آب شدن، بحث برانگیز است و نمی‌توان به‌طور کامل به آن اطمینان نمود. در ACI 201.2R اشاره شده است که می‌توان از سنگدانه‌هایی که در برابر یخزدن و آب‌شدن دوام کافی را ندارند نیز با رعایت برخی موارد استفاده کرد.

ت ۶-۴-۵-۶ چنانچه با آزمایش‌هایی طبق **بندهای ۶-۴-۵-۲** و **۶-۴-۵-۳** یا دیگرآزمایش‌ها، بسته به مورد نشان داده شود که عملکرد بتن در شرایط یخزدن و آب‌شدن متوالی دارای عملکرد قابل قبولی است، می‌توان از حباب هوای کمتری استفاده کرد. برخی اعتقاد دارند که در نسبت‌های آب به مواد سیمانی کمتر از حدود ۰/۳۵، دوام بتن در برابر چرخه‌های یخزدن و آب‌شدن متوالی (بدون نمک‌های یخزدا)، نیاز به استفاده از حباب هوا وجود ندارد. به هر حال با توجه به احتمال کاهش هوای عمدی بتن بر اثر حمل یا پمپ کردن، درصد حباب هوای لازم اولیه، معمولا بیشتر از درصد حباب هوای پای کار و پس از پمپ شدن، است.

ت ۶-۴-۶ الزامات دوام بتن برای کنترل واکنش قلیایی – سنگدانه

ت ۶-۴-۶-۱ کلیات

ت ۶-۴-۶-۱-۱ آزمایش سنگ‌شناسی به تنهایی برای تشخیص واکنش‌زایی سنگدانه کافی نیست و باید با آزمایش‌های تکمیلی دنبال شود.
به‌طور معمول نتایج واکنش‌زائی سنگدانه‌ها را در آزمایش ملات منشوری تسریع شده به سه بخش «غیر فعال»، «مشکوک» و «فعال» تقسیم می‌کنند. در صورتی‌که میزان انبساط در آزمایش

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

دیگری که معمولا از سطح خارجی بتن شروع می‌شوند، از درون باعث تخریب آن می‌شود.

۶-۴-۶-۱-۲ سنگدانه سیلیسی نظیر اوپال، چرت، کلسدونی، کریستوبالیت، تری دیمیت، بعضی از اشکال کوارتز دگرگون شده و شیشه‌های سیلیسی، توانایی واکنش‌زایی با قلیایی‌های سیمان را دارند. از سنگ‌های کربناتی، واکنش قلیایی برخی سنگ‌های آهکی دولومیتی نیز گزارش شده است.

۶-۴-۶-۲ ارزیابی واکنش قلیایی سنگدانه‌ها

الف- سنگدانه‌های سیلیسی

برای تشخیص امکان واکنش‌زایی سنگدانه‌های سیلیسی لازم است، بسته به مورد، آزمایش‌های «الف» تا «ت» زیر صورت گیرد.

الف- آزمایش سنگ‌شناسی برای تشخیص کانی‌های فعال مطابق استاندارد ملی ۱۳۵۵۲؛

ب- آزمایش قابلیت واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی‌ها به روش ملات منشوری تسریع شده، مطابق استاندارد ملی ۸۷۵۳؛

پ- آزمایش قابلیت انبساط‌پذیری به روش بررسی تغییر طول منشورهای بتنی ناشی از واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی مطابق استاندارد ملی ۸۱۴۹؛

ت- آزمایش قابلیت واکنش‌زائی قلیائی - سیلیسی ترکیبات مواد سیمانی و سنگدانه به‌روش ملات منشوری تسریع شده، مطابق با استاندارد ملی ۱۷۱۰۶.

تفسیر/توضیح

تسریع شده ملات منشوری در محدوده غیر فعال قرار گیرد، می‌توان از سنگدانه استفاده کرد.

ت ۶-۴-۶-۱-۲ در صورتیکه میزان انبساط این آزمایش در محدوده مشکوک قرار گیرد، باید آزمایش درازمدت منشور بتنی صورت پذیرد و چنانچه میزان انبساط در محدوده فعال قرار گیرد، توصیه می‌شود تا آن سنگدانه در بتن استفاده نشود، مگر آن‌که در آزمایش منشور بتنی در محدوده غیر فعال قرار گیرد و یا با استفاده از روش‌های کنترل انبساط، میزان آن را به کمتر از حد مجاز کاهش داد.

در صورتی‌که میزان انبساط در آزمایش درازمدت منشورهای بتنی از حداکثر مجاز کمتر شود، سنگدانه غیرفعال بوده و می‌توان آن را در بتن مصرف نمود.

در صورتی‌که میزان انبساط در آزمایش دراز مدت منشور بتنی بیش از حداکثر مجاز باشد، باید از مصرف آن سنگدانه اجتناب نمود و یا با روش‌های پیشگیرانه مثل کاهش قلیائی‌های سیمان یا ترکیبی از سنگدانه‌های فعال و غیر فعال و یا کاربرد مواد پوزولانی، انبساط را کنترل نمود.

ت ۶-۴-۶-۲ ارزیابی واکنش قلیایی سنگدانه

الف- سنگدانه‌های سیلیسی

الف- استفاده از آزمایش سنگ‌نگاری جهت شناسایی کانی‌های واکنش‌زا و تفسیر نتایج آزمایش کوتاه مدت و دراز مدت، توصیه می‌شود.

ب و پ- چنانچه آزمایش بند «ب» (استاندارد ملی ایران به‌شماره ۸۷۵۳) مشکوک بودن سنگدانه یا واکنش‌زا بودن آن را نشان دهد، لازم است آزمایش بند «پ» (استاندارد ملی ایران به شماره ۸۱۴۹) نیز انجام شود.

ت- چنانچه بخواهیم از مواد پوزولانی یا سرباره‌ای برای کاهش انبساط ناشی از واکنش‌زایی با قلیایی‌ها استفاده کنیم، لازم است ترکیب مواد سیمانی در آزمایش استاندارد ملی ایران به شماره ۱۷۱۰۶ بکار گرفته شود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

ب- سنگدانه‌های کربناتی

برای تشخیص امکان واکنش‌زایی سنگدانه‌های کربناتی باید، با نظر مهندس مشاور، آزمایش‌های «الف» تا «ت» زیر انجام شوند:

الف- آزمایش سنگ‌نگاری برای تشخیص کانی‌های فعال مطابق استاندارد ملی ۱۳۵۵۲؛

ب- آزمایش شیمیایی تعیین ترکیبات شیمیایی سنگدانه مطابق استاندارد کانادا به‌شماره CSA A23.2-26A؛

پ- آزمایش اندازه‌گیری پتانسیل واکنش‌زائی سنگدانه‌های کربناتی با روش استوانه سنگی مطابق با استاندارد ملی ۷۶۵۶؛

ت- آزمایش قابلیت انبساط‌پذیری به روش بررسی تغییر طول منشورهای بتنی ناشی از واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی‌ها مطابق با استاندارد ASTM C1105 .

۶-۴-۳-۶ روش‌های پیشگیرانه از واکنش قلیایی سنگدانه‌ها

۶-۴-۳-۶-۱ در مواردی‌که در آزمایش‌های استاندارد و ارزیابی‌های انجام شده، سنگدانه‌ها واکنش‌زا تشخیص داده شوند، بهترین روش پیشگیرانه کاهش معادل قلیائی سیمان و بتن می باشد (به **فصل ۳**، بخش سنگدانه‌ها مراجعه شود). روش پیشگیرانه دیگر در مورد واکنش قلیایی – سیلیسی، کاربرد مواد جایگزین سیمان، نظیر پوزولان‌های طبیعی، خاکستر بادی، سرباره کوره‌های آهنگدازی و دوده سیلیس می‌باشد. همچنین جایگزینی بخشی از سنگدانه‌های واکنش‌زای سیلیسی با سنگدانه‌های غیر واکنش‌زای کربناتی (شیرین‌سازی) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۶-۴-۳-۶-۲ برای اطمینان از کاهش و کنترل میزان انبساط سنگدانه‌ها باید آزمایش‌های استاندارد واکنش قلیایی سیلیسی با مقادیر مختلف ماده جایگزین سیمان، طبق

تفسیر/توضیح

ب- سنگدانه‌های کربناتی

الف- استفاده از آزمایش سنگ‌نگاری جهت شناسایی کانی‌های واکنش‌زا و تفسیر نتایج آزمایش کوتاه مدت و دراز مدت، توصیه می‌شود.

ب- در این آزمایش مقادیر برخی اکسیدهای سنگدانه تعیین می‌شود و سپس با توجه به محدوده داده شده در شکل پتانسیل واکنش زایی سنگدانه مشخص می‌شود.

پ و ت- چنانچه آزمایش بند «پ» (استاندارد ملی ایران به‌شماره ۷۶۵۶) مشکوک بودن سنگدانه یا واکنش‌زا بودن آن را نشان دهد، لازم است آزمایش بند «ت» (ASTM C1105) نیز انجام شود.

ت ۶-۴-۳-۶ روش‌های پیشگیرانه از واکنش‌قلیایی سنگدانه‌ها

ت ۶-۴-۳-۶-۱ در صورت نیاز به مصرف سنگدانه فعال، کاهش معادل قلیائیت سیمان ($Na_2O + 0.658\ k_2O$) راه حل دیگر پیشگیرانه است. در هیچ حالتی معادل قلیایی سیمان نباید از ۰/۶ درصد بیشتر شود. در بعضی سنگدانه‌های فعال کربناتی لازم است مقادیر کمتر قلیاها در سیمان و تا حد کمتر از ۰/۴ درصد آزمایش شود تا از میزان انبساط به کمتر از حداکثر مجاز اطمینان حاصل شود.

چنانچه سنگدانه‌های واکنش‌زای سیلیسی بکار روند می‌توان معادل قلیایی بتن را از مقدار خاصی کمتر نمود. اگر مقدار معادل قلیایی بتن کمتر از ۲/۴ کیلوگرم در متر مکعب کمتر شود وضعیت نسبتاً مناسبی حاکم خواهد شد و ممکن است نیاز به تدابیر دیگر منتفی شود.

استفاده از حداقل ۳۰ درصد سنگدانه آهکی غیرواکنش‌زا به جای سنگدانه‌های واکنش‌زای سیلیسی توصیه شده است. با این‌حال لازم است این درصد جایگزینی در هر مورد با آزمایش مشخص شود.

ت ۶-۴-۳-۶-۲ کاهش مصرف سیمان به کاهش معادل قلیایی بتن منجر می‌شود. همچنین مقدار کلسیم هیدروکسید ناشی از هیدراته

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

استاندارد ملی ۱۷۱۰۶، انجام شده و پس از اطمینان از میزان انبساط‌های کمتر از حداکثر مجاز، نوع پوزولان و درصد جایگزینی آن را مشخص شود. همچنین کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، کاهش مقدار سیمان، کنترل رطوبت در بتن و استفاده از برخی از افزودنی‌های شیمیایی، به‌عنوان راه حل کنترل این نوع واکنش قلیایی-سیلیسی شناخته شده است.

۶-۴-۷ الزامات دوام بتن در برابر سایش

۶-۴-۷-۱ بتن‌هایی که در معرض عوامل سایشی قرار می‌گیرند باید با انجام تمهیدات لازم، مقاومت مورد نیاز را برای دوام در برابر آن، دارا باشند.

۶-۴-۷-۲ کف‌های بتنی که در معرض عوامل سایشی قرار می‌گیرند به لحاظ میزان «آمد و شد» و وزن ماشین‌آلات مورد استفاده، به چهار طبقه تقسیم می‌شوند. این طبقه‌بندی همراه با بعضی الزامات اجرایی در مورد آن‌ها در **جدول ۶-۱۲** ارایه شده است.

۶-۴-۷-۳ الزامات مربوط به حداقل رده بتن و حداکثر میزان اسلامپ و نیز حداقل و حداکثر مواد سیمانی مصرفی در بتن‌های در معرض سایش در **جدول ۶-۱۳** و **جدول ۶-۱۴** آورده شده‌اند.

جدول ۶-۱۲ طبقه‌بندی انواع کف‌های بتنی در معرض سایش

رده سایشی	نوع رفت و آمد	مورد استفاده	تمهیدات خاص	پرداخت سطحی
۱	انسانی	ادارات، فضاهای تجاری، آموزشی، مسکونی و مشابه	پرداخت سطحی یکنواخت و مناسب، سنگدانه طبیعی با سختی سایشی LA40، عمل‌آوری رده ۲	ماله معمولی
۲	انسانی شدید و ماشینی سبک	پارکینگ‌های طبقاتی، فضاهای مذهبی، اداری و خدماتی با رفت و آمد زیاد	پرداخت کامل سطح، سنگدانه معمولی با سختی سایشی LA35، عمل‌آوری رده ۳، پُرکردن درزها با درز پُرکن مناسب	ماله مکانیکی معمولی
۳	ماشین آلات صنعتی با چرخ لاستیکی، در حد متوسط	پارکینگ‌های طبقاتی و روباز، کف‌های صنعتی معمولی	پرداخت کامل سطح، زیراساس آماده شده، سنگدانه با سختی سایشی LA30، پُرکردن درزها با درز پرکن مناسب، مقاومت در برابر سایش، عمل‌آوری رده ۳	ماله مکانیکی معمولی با تیغه‌های فلزی سخت
۴	ماشین آلات صنعتی با چرخ لاستیکی یا چرخ فولادی، در حد شدید	کف‌های صنعتی با رفت و آمد سنگین و بارهای ضربه‌ای، پارکینگ‌های روباز ماشین آلات صنعتی و سنگین	پرداخت کامل سطح، زیراساس آماده شده، سنگدانه با سختی سایشی LA25 یا استفاده از مواد سخت‌کننده سطحی، پُرکردن درزها با درز پُرکن مناسب ، انتقال بارهای سنگین با میلگرد داول، مقاومت در برابر سایش، عمل‌آوری رده ۴	مواد سخت کننده سطحی بتن و ماله‌کشی مکانیکی با تیغه‌های فلزی سخت

تفسیر/توضیح

شدن فازهای سیلیکاتی سیمان، کاهش می‌یابد که می‌تواند به کاهش انبساط بتن منجر شود.

برای اطلاعات بیشتر در مورد کاهش خطر واکنش قلیایی سنگدانه می‌توان به استاندارد ASTM C1778 مراجعه کرد.

افزودنی‌های شیمیایی کاهنده انبساط ناشی از واکنش قلیایی سیلیسی مانند نمک‌های لیتیم دارای مشخصات استاندارد خاصی نمی‌باشند، اما در پاره‌ای از موارد کاربرد داشته است.

ت ۶-۴-۷ الزامات دوام بتن در برابر سایش

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

جدول ۶-۱۳ الزامات اسلامپ، رده مقاومتی و حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی (۱)

رده سایشی	حداقل رده بتن	حداکثر اسلامپ، میلی‌متر	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی
۱	C20	۹۰	۰/۵۵
۲	C25	۹۰	۰/۵۰
۳	C30	۷۰	۰/۴۵
۴	C35	۴۰	۰/۴۲

۱ - حداکثر میزان اسلامپ ارایه شده در جدول، مقادیر اسلامپ قبل از افزودن روان‌کننده است. ضمناً نباید از اسلامپ طرح مخلوط بیشتر باشد. پس از افزودن روان‌کننده، محدودیتی برای میزان اسلامپ وجود ندارد مگر اینکه در طرح مخلوط محدودیتی پیش بینی شده باشد.

جدول ۶-۱۴ حداقل و حداکثر مواد سیمانی توصیه شده برای کف‌های بتنی

حداکثر اندازه سنگدانه، میلی‌متر	حداقل و حداکثر مواد سیمانی، کیلوگرم در متر مکعب
۲۵	۳۰۰-۳۷۵
۱۹	۳۲۵-۴۰۰
۱۳	۳۵۰-۴۲۵
۱۰	۳۷۵-۴۵۰

متن اصلی

۶-۴-۷-۴ برای افزایش مقاومت سایشی بتن کف‌ها، می‌توان از حداکثر اندازه سنگدانه کوچک‌تر و با مقاومت سایشی بیشتر، دوده سیلیس، پلیمر شیره لاستیک استایرن بوتادین (SBR) یا ترکیبی از آن‌ها استفاده نمود. همچنین پرداخت صحیح و اصولی سطح، عمل‌آوری مناسب و طولانی‌تر (افزایش رده عمل‌آوری) و پاشش مواد ریز سخت‌کننده سطحی بر روی بتن و پرداخت آن نیز می‌تواند به‌کار برده شود.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۴-۷-۴ مقادیر پیشنهادی دوده سیلیس و شیره لاستیک (SBR) در جدول ت ۶-۵ و جدول ت ۶-۶ آورده شده است. استفاده همزمان دوده سیلیس و پلیمر SBR نیز سبب افزایش مقاومت سایشی می‌شود. همچنین استفاده از مواد متاسیلیکاتی نیز می‌تواند سختی سایشی را بوجود آورد. این مواد مایع بعنوان ماده عمل‌آوری و سخت کننده سایشی بر روی سطح بتن پاشیده می‌شود.

جدول ت ۶-۵ مقادیر پیشنهادی دوده‌سیلیس (جایگزین سیمان) برای انواع کف‌ها

رده سایشی	حداقل درصد وزنی دوده‌سیلیس به مواد سیمانی
۱	-
۲	۵
۳	۶
۴	۸

- حداکثر میزان دوده‌سیلیسی نیز به ۲ درصد بیش از مقادیر فوق محدود می‌شود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۴-۷-۵ برای تعیین مقاومت سایشی سنگدانه‌های مصرفی در بتن کف، باید از آزمایش مقاومت سایشی به روش لس‌آنجلس، استاندارد ملی ۸۴۴۷، استفاده نمود.

۶-۴-۷-۶ حداکثر سایش کف‌های بتنی با استفاده از آزمایش استانداردهای ملی ۲۰۱۸۵، ۲-۷۵۵ و ۱۷۳۰۸ باید توسط طراح پروژه مشخص شود در غیر این صورت باید مطابق با الزامات جدول ۶-۱۵ باشد.

جدول ۶-۱۵ حداکثر سایش قابل قبول در انواع کف‌های بتنی

رده سایشی	حداکثر عرض سایش قابل قبول، میلی‌متر، (به روش چرخ پهن) استانداردهای ملی ۲۰۱۸۵، ۲-۷۵۵	حداکثر مقدار سایش قابل قبول، $cm^3/50cm^2$، (به روش بوهم) استانداردهای ملی ۲۰۱۸۵, ۲-۷۵۵	حداکثر سایش قابل قبول، mm، بر اساس روش A آزمایش استاندارد ملی ۱۷۳۰۸
۱	۲۶	۲۶	۱
۲	۲۳	۲۰	۰/۸
۳	۲۰	۱۸	۰/۶
۴	۱۷	۱۶	۰/۴

چنانچه با انجام این آزمایش‌ها ثابت شود که مقاومت سایشی قابل قبولی وجود دارد می‌توان از الزامات تجویزی جدول ۶-۱۳و جدول ۶-۱۴صرفنظر نمود.

۶-۴-۸ الزامات دوام بتن در مقابل آتش

سازه‌های بتن آرمه برای حفظ دوام کافی یا میزان تحمل آتش در هنگام حریق، باید الزامات ویژه‌ای را دارا باشند. این الزامات در مبحث سوم مقررات ملی ساختمان ارایه شده است.

۶-۵ تخمین عمر مفید سازه‌های بتن آرمه

۶-۵-۱ الزامات خوردگی در اثر یون‌های کلرید در جدول ۶-۲ الی جدول ۶-۵، به منظور تامین عمر مفید ناشی از

تفسیر/توضیح

جدول ت ۶-۶ مقادیر پیشنهادی SBR (شیره لاستیک استایرن بوتادین) برای رده سایشی

رده سایشی	مقادیر *SBR (درصد وزنی نسبت به مواد سیمانی)
۱	-
۲	۵
۳	۱۰
۴	۱۵

* درصد پیشنهادی براساس SBR مایع با درصد جامد ۵۰ درصد ارایه شده است.

ت ۶-۴-۷-۶ برای سنجش میزان و یا مقاومت در برابر سایش کف‌های بتنی چندین آزمایش استاندارد پیشنهاد شده است. این آزمایش‌ها تحت عوامل سایش دهنده نظیر چرخ‌های سمباده‌ای، گلوله‌های فولادی و ماسه‌پاشی و سایش زیرآب و بتن متخلخل صورت می‌پذیرد. این آزمایش‌ها در استانداردهای ملی ۱۷۳۰۷، ۱۷۳۰۸، ۱۷۳۰۹، ASTM C1138 و ASTM C1747 آورده شده‌اند. به هرحال برای ۳ آزمایش آخر ضابطه خاصی بعنوان معیار پذیرش داده نشده است و مهندس مشاور باید معیار پذیرش را برای آن‌ها در مشخصات فنی پروژه قید نماید.

ت ۶-۴-۸ الزامات دوام بتن در مقابل آتش

ت ۶-۵ تخمین عمر مفید سازه‌های بتن آرمه

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

الزامات تجویزی حدود ۳۰ سال است. همچنین الزامات جدول ۶-۶ برای خوردگی ناشی از کربناته شدن بمنظور تامین عمر مفید حدود ۱۰۰ سال است. در مواردی‌که نیاز به عمر مفید بیشتری وجود داشته باشد، می‌توان از الزامات سخت‌گیرانه‌تری با نظر مهندسین مشاور، و یا مدل‌های توصیه شده در بند ۶-۵-۲ استفاده کرد.

۶-۵-۲ برای تخمین عمر مفید سازه‌های بتن‌آرمه در شرایط محیطی کلریدی یا کربناتی می‌توان یکی از روش‌های الف و ب زیر را بکار برد:

الف - مدل‌های تایید شده آزمایشگاهی که بر اساس عملکرد مواد و مصالح مشابه آنچه در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرد، تدوین شده‌اند.

ب- روش‌های محاسباتی که در تفسیر این بند معرفی شده‌اند.

تفسیر/توضیح

ت ۶-۵-۲ جهت تخمین عمر مفید و طراحی بر اساس دوام می‌توان از مدلهای بین‌المللی مانند Model Code 2010 فدراسیون بین‌المللی بتن (fib) یا گزارش شماره CSL-130 کمیته فنی RILEM یا life 365 انجمن بتن آمریکا (ACI) با توجه به شرایط بومی کشور استفاده کرد.

مدل‌های عمر مفیدی که توسط مهندس مشاور تهیه می‌شوند باید جهت تایید و اثبات انطباق آن با شرایط اجرایی واقعی، مورد بررسی قرار گیرند.

می‌توان جهت توسعه مدل‌های احتمالاتی، از شبیه‌سازی مونت کارلو با توجه به انحراف معیار یا ضریب تغییرات مشخصات مواد و مصالح و شرایط اجرایی واقعی بهره جست.

برخی نرم‌افزارهای محاسباتی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی داخل کشور که بر اساس مطالعات دوام بتن در سواحل جنوبی کشور توسعه یافته است، با توجه به داده‌ها، مشخصات بتن و شرایط محیطی عمر مفید بتن آرمه را با در نظر گرفتن زمان شروع خوردگی با روش احتمالاتی محاسبه می‌نمایند. همچنین می‌توان با این نرم افزارها با در نظرگیری عمر مفید لازم برای سازه بتنی، مشخصات بتن و ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها را مشخص نمود.

مثال‌هایی از مدل‌های نفوذ یا انتشار برای تخمین زمان شروع خوردگی یا عمر مفید به شرح ذیل است، به هر حال لازم است حد کلرید بحرانی برای شروع خوردگی کلریدی در تمام این مدل‌ها مشخص شود:

طراحی بر اساس دوام برای خوردگی کلریدی

به‌منظور پیش‌بینی عمر مفید سازه‌های بتن آرمه در محیط‌های خورنده، که یون‌های کلرید عامل اصلی خرابی آن است، باید از مدل‌های پیش‌بینی عمر مفید مربوط به همان ناحیه استفاده نمود. معادله کلی تخمین عمق نفوذ یون‌های کلرید که تابع قانون دوم فیک از طریق تئوری انتشار است، به‌صورت رابطه (ت ۶-۲) آمده است.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی

۶-۵-۳ مدل‌های عمر مفید باید بر اساس مکانیزم خرابی موثر غالب با توجه به شرایط محیطی، مورد تایید قرار گیرند.

۶-۵-۴ مواد و مصالح و شرایط اجرایی مورد استفاده در مدل عمر مفید، باید حداکثر تطبیق با مواد و مصالح و شرایط اجرایی واقعی را داشته باشند.

تفسیر/توضیح

$$C_{(x,t)} = C_0 + (C_{S,\Delta x} - C_0)\left[1 - erf\ \frac{a - \Delta x}{2\sqrt{D_{app,c}\,t}}\right] \qquad \text{(ت ۶-۲)}$$

$C_{(x,t)}$: مقدار کلرید در عمق x (سطح سازه x=0 m) در زمان t (درصد وزن سیمان)

C_0: مقدار کلرید اولیه بتن (درصد وزن سیمان)

$C_{S,\Delta x}$: مقدار کلرید در عمق $\boldsymbol{\Delta x}$ در زمان t (درصد وزن سیمان)

x: عمق متناسب با مقدار کلرید $\boldsymbol{C_{(x,t)}}$ (m)

a: ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد (mm)

Δx: عمق ناحیه همرفت (لایه بتن که تا آن ناحیه فرآیند نفوذ کلرید از قانون انتشار دوم فیک تبعیت نمی‌کند) (mm)

$D_{app.c}$: ضریب انتشار کلرید در بتن ($mm^2/year$)

erf: تابع خطا

طراح می‌تواند با تعیین و قرار دادن تمام پارامترها، زمان t را محاسبه و بدین‌وسیله زمان آغاز خوردگی در این حالت را پیش‌بینی نماید. بدیهی است، مقدار کلرید در سطح میلگرد باید معادل کلرید بحرانی برای آن بتن قرار داده شود.

طراحی بر اساس دوام برای خوردگی ناشی از کربناته شدن

درصورتیکه خوردگی آرماتور در اثر نفوذ گاز دی‌اکسیدکربن و پدیده کربناته شدن بتن صورت پذیرد، پیش بینی عمر مفید می‌تواند بر اساس رابطه **(ت ۶-۳)** انجام شود.

$$x = at^{0.5} \qquad \text{(ت ۶-۳)}$$

دراین رابطه x عمق نفوذ کربناته شده بتن، t زمان و a پارامتری است که به شرایط محیطی و مشخصات بتن وابسته است.

مهندس مشاور می‌تواند با کاربرد رابطه فوق در منطقه مورد نظر و قراردادن ضخامت پوشش بتنی روی آرماتور (x) و پارامتر a، زمان لازم برای آغاز خوردگی و در نتیجه عمر مفید را پیش‌بینی نماید. این پدیده امروز در شهرهای پر جمعیت و پرترافیک و همچنین ریز اقلیم‌های خاص دارای غلظت زیاد گاز دی‌اکسیدکربن که قبلاً ذکر شد، برای سازه‌های بتن‌آرمه اهمیت زیادی دارد.

برای اطلاعات بیشتر می‌توان به منابع معتبر مانند منبع اکربناسیون بتن-رساله ی دکتری-دانشگاه امیر کبیر ، امیر طریقت.] مراجعه نمود.

ALIREZA RAHMATI INSTAGRAM: @Rahmati_ar

متن اصلی	تفسیر/توضیح
۶-۵-۵ توصیه اکید می‌شود که عمر مفید سازه‌های مهم و استراتژیک در شرایط محیطی XCD4، XCS3 و XCS4 را به یکی از روش‌های احتمالاتی تخمین عمر مفید که مبتنی بر قابلیت اعتماد است، برآورد کرد.	

دانشیان پارسا آزمون